



## Malatya Ovacık Fay Zonunun Yazıhan Segmentinin İstatistiksel Deprem Risk Analizi

*Statistical Earthquake Risk Analysis of Yazıhan Segment of Malatya Ovacık Fault Zone*

ULAŞ İNAN SEVİMLİ<sup>1</sup> 0000-0003-1168-2150

ULVİ CAN ÜNLÜGENÇ<sup>2</sup> 0000-0002-6608-6607

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Adana

Geliş (received): 06/10/2022

Kabul (Accepted): 20/12/2022

### ÖZ

Günümüzde deprem oluş zamanlarının karma dağılım yaklaşımı kullanılarak, meydana gelebilecek olası depremlerin hesaplamaları yapılmaktadır. Bu çalışmada ise, depremlerin meydana gelme zamanları için olasılık hesapları yapılmıştır. Bu analizlerde deprem risk analizi modellerinde Gamma, Lognormal, Weibull ve Exponential dağılım modelleri kullanılmaktadır. Hazırlanan veri seti kullanılarak bahsi geçen dağılım modelleri ile yapılan çalışmalarda, KS ve RMS değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen modellerle ait birikimli dağılım fonksiyon grafikleri incelenerek hazırlan veri setine uygun model belirlenerek istatistiksel olarak deprem risk analizleri gerçekleştirilmiştir. 1900–2021 yılları arasında Malatya ili kuzeyinde gözlemlenen, Malatya Ovacık Fay Zonunun Yazıhan segmenti üzerinde meydana gelen depremler veri seti olarak kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yazıhan; Deprem; Malatya Fayı; İstatistiksel Risk Analizi

Ulaş İnan SEVİMLİ

usevimli@adiyaman.edu.tr

Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

## **ABSTRACT**

*Today, calculations of possible earthquakes that may occur later are made by using the mixed distribution approach of earthquake occurrence times. In this study, probability calculations were made for the occurrence times of earthquakes. In these analyses, Gamma, Lognormal, Weibull and Exponential distribution models are used in earthquake risk analysis models. KS and RMS values were calculated in the studies carried out with the aforementioned distribution models using the prepared data set. By examining the cumulative distribution function graphs of the models obtained, the distribution model suitable for the prepared data set was selected and statistically earthquake risk analyzes were carried out. The earthquakes that occurred on the Yazihan segment of the Malatya Ovacık Fault Zone, observed in the north of Malatya between the years 1900-2021, were used as the data set.*

**Keywords:** *Yazihan; Earthquake; Malatya Ovacık Fault Zone; Statistical Risk Analysis*

## **GİRİŞ**

Ülkemiz jeolojik konumu nedeniyle aktif fay kuşaklarının etkisi altındadır. Bu kuşaklar geçmişten günümüze birçok yıkıcı deprem üretmiş ve önemli miktarda mal ve can kaybına neden olmuşlardır. Bir bölgedeki deprem riskinin bilinmesi ve buna uygun önlem alınması, olası depremin doğuracağı can ve mal kaybını en aza indirgeyecektir. Depremler, yeryüzünde görülen en büyük doğal afetlerin başında gelmektedir. Deprem kestirimi yeterince ilerleme kaydedilmediği için, yapılan deprem tehlike/risk çalışmaları büyük oranda önceden meydana gelmiş depremler kullanarak istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda, meydana gelmiş tarihsel ve aletsel deprem verilerinden veri setleri oluşturulmakta böylelikle depremlerin olma olasılıkları ve tekrarlanma periyotları istatistiksel olarak hesaplanmaktadır.

Bu makalede ülkemizin ve dünyada önemli bir konumda olan deprem üretme potansiyeli oldukça yüksek olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gibi doğrultu atımlı özelliğe sahip yaklaşık KD doğrultu Doğanşehir-Ovacık arasında yer alan Malatya – Ovacık Fay Zonu'nun önemli bir parçası olan Malatya Fayının etki alanında kalan Malatya ili kuzeyinin istatistiksel deprem risk analizi değerlendirilmiştir. Merkezi Yazihan (Malatya) olmak üzere Malatya fayı boyunca yaklaşık çap 35 km'lik daire içerisinde 1900-2021 yılları arasında meydana gelmiş magnitudü 2 –x arasında değişen 901 adet deprem

verilerinden hazırlanmış deprem risk analizlerine göre, belirli zamanlarda depremin olma olasılığı istatistiksel olarak hesaplanmıştır.

## METOD VE BULGULAR

Bu çalışmada Malatya Fayı üzerinde, bugüne kadar olan ölçülmüş deprem verileri içerisinde, merkez noktası Yazihan (Malatya) olan, 35 km yarıçapında bir daire içerisinde yer alan deprem ( $M>2$ ) verileri kullanılarak, Yazihan ve çevresi için istatistiksel deprem risk analizleri yapılmıştır. Toplam 1523 deprem verisinden  $M>2$  ve üzeri 901 deprem seçilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

İstatistiksel yöntemler, depremlerin oluş zamanının modellemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Depremlerin oluşma zamanlarının modellenmesi ile ilgili Literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Deprem oluş zamanlarının modellenmesinde yaygın kullanılan dağılımlar arasında Weibull dağılım modeli (Hagiwara, 1974; Udias, 1975; Utsu, 1984; Rikitake, 1991; Sykes at all, 2003), Gamma Dağılım modeli (Udias, 1975; Utsu, 1984) ile Lognormal Dağılım modeli (Nishenko at all, 1987; Goes, 1996; Shimazaki, 2002; Erişoğlu ve ark., 2011) sayılabilir .

Utsu (2002) yapmış olduğu bu çalışmada, deprem oluş zamanlarının modellenmesinde sıkça kullanılan Üstel, İki Parametrelili Üstel, Weibull, Gamma ve Lognormal dağılımlarını incelemiştir. Yakın zamanlarda yapılan çalışmalarda büyük depremlerin oluş zamanlarının modellemelerinde matematiksel modellemelerin yanında Novel modellerde de gelişmeler olmuştur (Matthews at all, 2002; Parsons 2004). Brownian modeli, magnitudü 7 ve daha büyük depremlerin Marmara Deniz'i tabanında meydana gelme zamanlarının tahmininde kullanılmıştır (Matthews at all, 2002). Lee ve Tasi (2005) ise Tayvan'da 1900-2001 yılları arasında  $M \geq 5$  büyük depremlerin oluş zamanlarının modellenmesinde Weibull, Gamma, Poisson ve lognormal dağılımlarına göre incelemiş, bu dağılımlar arasında Gamma dağılımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Kagan ve Jackson (2000), Gutenberg Richter dağılımı yöntemini Filipinler adasının kuzey kesimlerinde meydana gelen deprem tahminleri için kullanmıştır. Shimazaki (2002) ise Nankai depremlerinin oluşma zamanlarının modellenmesinde Lognormal, Poisson, İki Parametrelili Üstel, Weibull ve Gamma dağılımlarını kullanmıştır. Seher ve Main (2004), deprem verilerinin farklı boyutlardaki Multi-line, Sinüzoidal, polinom ,modellemelerini kullanarak ortaya koydukları üç parametrelili doğrusal bir modelleme ile tahmin etmiştir. Parsons (2004), paleoseismik veriler kullanarak Poisson, Lognormal, ve Brownian modellerinin sonuçlarını incelemiştir. Stein vd. (1997), 1939-92 yılları arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda (KAFZ) magnitudü 6.7'den büyük olan toplam 10 adet depremin verisini kullanarak gelecek 30 yıllık periyot içerisinde olası depremlerin oluş zamanlarını istatistiksel modellemeler kullanarak tahmin etmişlerdir. Erişoğlu vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 1960'dan 2008'e kadar olan magnitudü 3 ve üstü depremleri kullanarak deprem oluş zamanı modellemesinde karma dağılımları kullanmışlardır

Yapılan bu çalışma ile depremlerin meydana gelme zamanlarının modellenmelerinde, Erişoğlu vd. (2011)'in önermiş oldukları karma dağılımlar kullanılmış ve istatistiksel olarak deprem oluş zamanı modellemeleri yapılmıştır. Bu çalışmada, Weibull-Gamma, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Weibull, Gamma-Gamma, Exponational-Exponational, Weibull-Weibull, Exponational-Lognormal, Exponational-Weibull, Gamma-Lognormal karma dağılım modelleri kullanılmıştır.

## **BÖLGESEL JEOLojİ ve TEKTONİK**

Avarasya Levhası ile Arabistan ve Afrika Levhaları'nın kuzeye doğru hareketi sonucunda arada kalan Anadolu Bloğunun KAFZ ve DAFZ boyunca batı-güneybatıya doğru kaçışı bölgesel tektonik açasından önemli rol oynamaktadır. Malatya Ovacık Fay Zonu (MOFZ) yaklaşık 240 km uzunluğunda olup Anadolu Bloku içerisindeki doğuda DAFZ'na yaklaşık paralel KD-GB doğrultulu sol yanal faydır. Daha önceki çalışmalarda fay zonunun son birkaç milyon yıldır aktif olmadığı ileri sürmesine rağmen, son yapılan çalışmalar bunun aksi yönde olduğunu ileri sürmektedir.

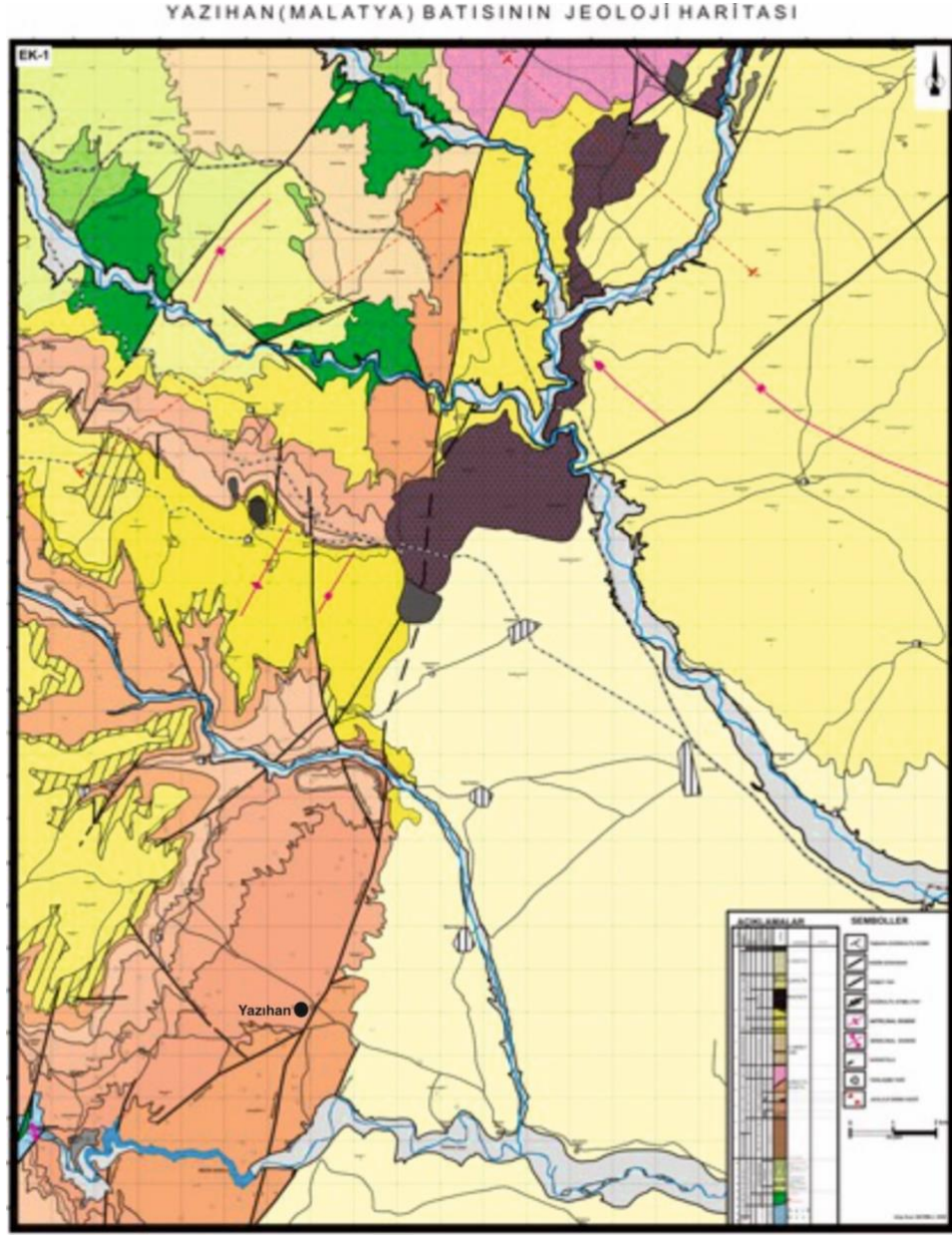
Bölgeyi etkileyen DAFZ ve KAFZ'nun etkisi ile ortaya çıkan sıkışma tektoniği rejimine (emin misiniz? Referans ekleyin lütfen) bağlı olarak oluşmuş olan Malatya Fayı Malatya ilinin batısında Doğanşehir- Akçadağ- Arguvan- Arapkir doğrultusunda uzanmaktadır (yerleşim alanlarını şekilde gösteriniz lütfen).

İnceleme alanında jeolojik birimler, temelde Üst Jura – Alt Kretase yaşlı Horasançal formasyonu ile başlamaktadır. Formasyon, Geç Kampaniyen öncesinde gelişen tektonik bindirme ile Hocalıkova ofiyoliti tarafından örtülmüştür. Hekimhan formasyonu, transgresif bir istif karakterinde olup Üst Kampaniyen – Maastrichtiyen döneminde bölgeye yerleşmiştir. Çökelme alanının kapanması ile birlikte, Paleosen döneminde Medik formasyonu, Hekimhan formasyonunu açasal uyumsuzlukla örtmüştür. Orta – Üst Eosen döneminde gelişen ikinci büyük bir transgresyonla birlikte bölgeye Tohma formasyonu çökelmiştir. Leylek volkanitleri, Havzanın kapanması sırasında Tohma formasyonunu üzerini uyumsuzlukla örtmektedir. Havzanın kapanması sonucunda Oligosen döneminde bölgede karasal nitelikli Yeşilpınar formasyonu çökelmiştir. Alt Miyosen döneminde ise gelişmeye başlayan Malatya Fay

Zonunun etkisi ile birlikte bölgede küçük transgresyonlar başlamıştır. Bunun sonucunda Çavuş formasyonu Yeşilpınar formasyonunu açısız uyumsuzlukla örtmüştür. Ansurçay formasyonu, Burdigaliyen döneminde açısız uyumsuzlukla Çavuş formasyonu örtmüştür. Havzanın tekrar sığlaşması ile birlikte Alt – Orta Miyosen yaşlı Akyar formasyonu bölgede çökelmiştir. Yamadağ volkanitleri orta-üst miyosen döneminde bölgede var olan birimleri örtmüştür. Üst Miyosen yaşlı Parçikan formasyonu Yamadağ volkanitlerini uyumsuzlukla örtmektedir. Plio-Kuvaterner yaşlı Mısırdere formasyonu açısız uyumsuzlukla Parçikan formasyonunu örtmekte, son olarak bu birimleri açısız uyumsuzluk ile Kuvaterner yaşlı Alivyon ve Taraçalar üzerlemektedir (Sevimli, 2009) (Şekil 2.).

### **Malatya Fayı:**

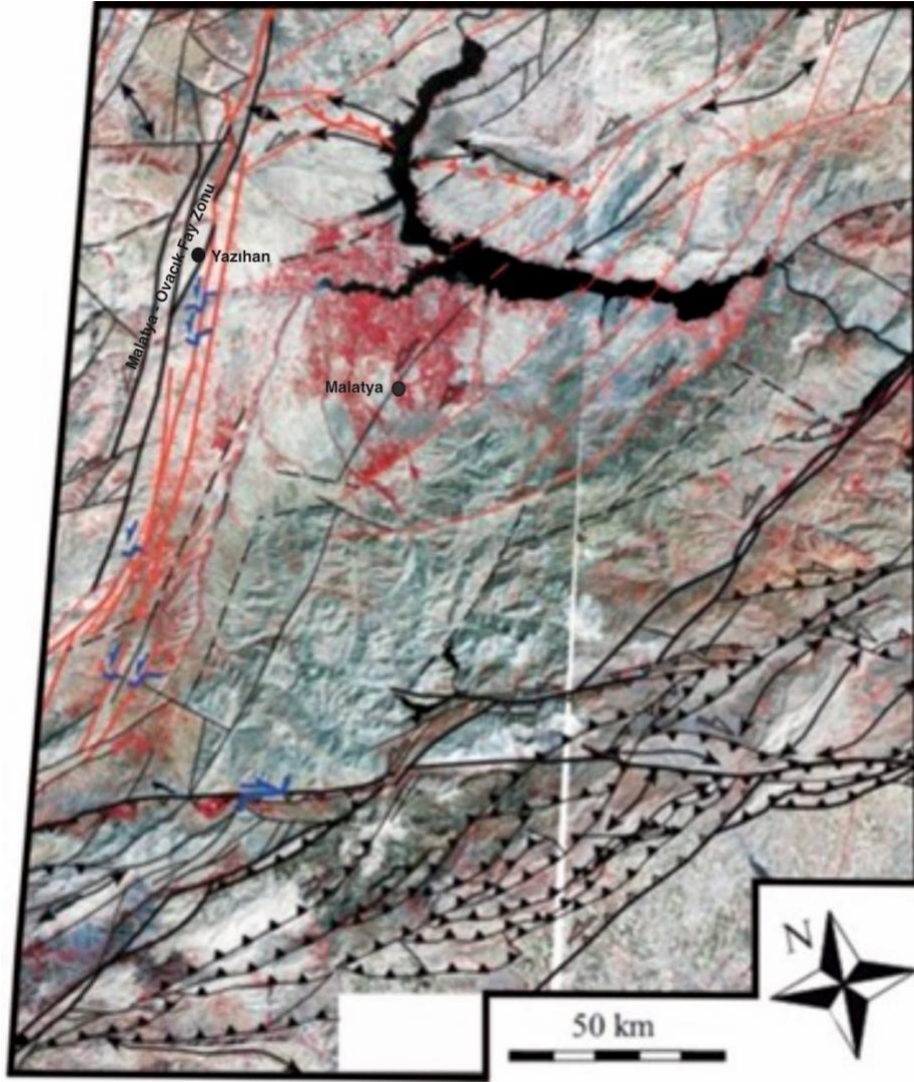
Malatya Fayı, ilk kez Aktimur'un (1979) yılında hava fotoğraflarından yararlanarak "Malatya Fayı" olarak isimlendirmiştir. İnceleme alanında yaklaşık KD doğrultulu olarak uzanan Malatya – Ovacık Fay Zonunun bir segmenti olan fay, Pliyosen'den genç bir fay olduğu belirtilmekte (Aktimur, 1979; Koçyiğit vd., 1998; Westaway at all, 2001 Sevimli, 2009;) olup, fayın diri ya da pasif bir fay olduğu yönünde farklı görüşler ortaya atılmaktadır. Bu konuda (Aktimur, 1979; Koçyiğit vd., 1998 Sevimli, 2009;), Malatya – Ovacık fay zonunun halen aktif bir fay olduğu yönünde fikir öne sürerlerken, (Westaway at all, 2001) ise onlara tam zıt fikir öne sürüp Malatya – Ovacık fay zonunun diri fay olmadığını ve bu fayın 3-5 milyon yıl önce aktif bir fay olduğunu belirtmişlerdir. Doğu Anadolu Fay Zonunun gelişmesi ile birlikte fayın etkinliğinin durduğunu öne sürmüşlerdir. Doğrultu atımlı sol yanal bir fay olarak uzanan Malatya – Ovacık Fay zonu (Arpat vd., 1972; Aktimur, 1979) Doğanşehir ilçesinin yaklaşık 5 km. güneybatısından başlamakta ve çalışma sahamız içerisinde de uzanımına devam ederek kuzeyde Arapkir ilçesinin 10 km. batısında çatallandığı ve birinci çatalın kuzeye doğru Ilıç'ın 15 km. güneybatısına kadar uzandığını ve diğer çatalın kuzeydoğuya doğru yaklaşık 25 km. uzanmakta olduğu (Şaroğlu, vd., 1987) tarafından da ileri sürülmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. Yazihan ve yakın civarının jeoloji haritası ((Sevimli 2009)'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of Yazihan and its surroundings (modified from (Sevimli 2009)).





**Şekil 3.** Şekil 3. Malatya – Ovacık Fay zonunun bir kısmının uydu görüntüsü üzerinde CBS analizi yapılarak işlenmiş yapısal haritası ( Kaymakçı vd., 2006).

*Figure 3. Structural map of Malatya – Ovacık Fault zone processed by GIS analysis on satellite image ( Kaymakçı et al., 2006).*

### **Modelleme ve Deprem Risk Analizi**

Literatür incelendiğinde, deprem oluş zamanlarının modellenmesiyle ilgili çalışmalarda en yaygın kullanılan dağılımlar olarak Gamma, Üstel, Weibull ve Lognormal dağılımları gösterilebilir (Erisoğlu vd, 2011).



**Modelleme:**

$T$  ard arda meydana gelen iki deprem arasındaki oluş zamanını gösteren rassal değişkenimiz olsun.  $T$  rassal değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(t)$  ve birikimli dağılım fonksiyonu  $F(t)$  ile gösterilsin. Deprem oluş zamanlarının modellenmesinde bir depremden sonra  $t$  anına kadar bir depremin meydana gelmediği bilindiğinde  $t + \Delta t$  aralığında bir deprem meydana gelme olasılığı

$$P(\Delta t | t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. İstenilen koşullu olasılık hazard fonksiyonu olarak adlandırılır ve  $T$  'nin güvenilirlik fonksiyonu  $S(t)$  olmak üzere,

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (2)$$

eşitliği ile elde edilir.

**Deprem Oluş Zamanlarının Modellenmesinde Önemli Bazı Dağılımlar:**

Literatür incelendiğinde, deprem oluş zamanlarının modellenmesiyle ilgili çalışmalarda en yaygın kullanılan dağılımlar olarak Üstel, Gamma, Lognormal ve Weibull dağılımları gösterilebilir. Bu dağılımlara ait olasılık fonksiyonu ve birikimli dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

*a) Üstel Dağılım*

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ ve } \lambda > 0$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$E(t) = \lambda$$

*b) Gamma Dağılımı*

$$f(t) = t^{\alpha-1} \frac{e^{-t/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad t > 0 \quad \alpha, \beta > 0$$

$$F(t) = \frac{\Gamma_x(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

$$\Gamma_x(\alpha)$$

tamamlanmamış gamma fonksiyonu olarak isimlendirilir ve

$$\Gamma_x(\alpha) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

şeklinde hesaplanır.

$$E(t) = \alpha\beta$$

### c) Weibull Dağılımı

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad t > 0 \quad \alpha, \beta > 0$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$$

$$E(t) = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

### d) Lognormal Dağılım

$$f(t) = \frac{e^{-\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right]^2\right\}}}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \quad t > 0 \quad \mu, \sigma > 0$$

$$F(t) = \Phi\left\{\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right\}$$

Burada  $\Phi$  normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonudur ve

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\ln t - \mu}{\sigma}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

şeklinde hesaplanır.

$$E(t) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

### Deprem Oluş Zamanlarının Modellenmesinde Karma Dağılım Yaklaşımı

Karma dağılım yaklaşımı kullanıldığında kitle içerisinde  $g$  ( $\geq 2$ ) tamsayı olmak üzere,  $g$  tane farklı gizli sınıfın veya alt grubun olduğunu varsayımı yapılır. Sonlu karma dağılım fonksiyonu,

$$f(t|\psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k f_k(t|\theta_k)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $k = 1, \dots, g$  olmak üzere  $f_k(t|\theta_k)$ ,  $k$ . alt grupta  $t$  gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $\theta_k$  bilinmeyen parametre vektörü,  $\pi_k$ ,  $\pi_k \in (0,1)$

ve  $\sum_{k=1}^g \pi_k = 1$  koşuluyla  $k$ . alt grubun kitle içerisindeki oranı ve  $\psi = (\pi, \theta)$ ,  $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_g)$  ve

$\theta = (\theta_1, \dots, \theta_g)$  bilinmeyen vektörlerini içeren karmağın bilinmeyen parametre vektörü olarak tanımlanır.

### Karma Dağılımın Parametrelerinin EM Algoritması İle Tahmini

Karma dağılımının parametrelerinin tahmininde kullanılan EM algoritması etkin yöntemdir (McLachlan ve Peel 2001). EM algoritmasında tamamlanmamış gözlem vektörü  $t_1, \dots, t_n$  ve gizli sınıf vektörleri  $z_1, \dots, z_g$  şeklinde gösterilsin. EM algoritmasının E adımında gizli sınıf vektörü  $z_i = (z_{1i}, \dots, z_{gi})$  tahmininde,  $E(z_{ki} | t_i)$  kullanılır.

$$\hat{z}_{ki} = E(z_{ki} | t_i) = \frac{\pi_k f(t_i | \theta_{ki})}{\sum_{s=1}^g \pi_s f_s(t_i | \theta_s)}$$

EM algoritmasının M adımında, E adımında elde edilen  $E(L)$ ,  $\sum_{k=1}^g \pi_k = 1$  koşulu altında maksimize edilir.  $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_g)$  ve  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_g)$  bilinmeyen vektöründeki parametrelerin tahmini için, Lagrange yöntemi kullanılır. Alt grubun kitle içindeki oranının tahmini,

$$\hat{\pi}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}, \quad k = 1, \dots, g$$

şeklinde yapılır.

$f_k(t | \theta_k)$ ,  $k$ . alt grupta  $t$  gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu üstel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k \lambda e^{-\lambda t}$$

üstel dağılımların karması elde edilir. Üstel dağılımların karmasında  $k$ . alt grupta  $\lambda$  parametresinin en çok olabilirlik tahmin edicisi EM algoritması ile

$$\hat{\lambda}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

Şeklinde tahmin edilir (Erişoğlu vd., 2011).

$f_k(t | \theta_k)$ ,  $k$ . alt grupta  $t$  gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k \frac{e^{\left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln t - \mu_k}{\sigma_k} \right)^2 \right\}}}{t \sigma_k \sqrt{2\pi}}$$

Lognormal dağılımların karması elde edilir. Lognormal dağılımların karmasında  $k$ . alt grupta  $\mu$  ve  $\sigma^2$  parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri EM algoritması ile

$$\hat{\mu}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} \ln t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} (\ln t_i - \hat{\mu}_k)^2}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

şeklinde tahmin edilir.

$f_k(t | \theta_k)$ ,  $k$ . alt grupta  $t$  gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu Weibull dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k \frac{\alpha_k}{\beta_k} \left( \frac{t}{\beta_k} \right)^{\alpha_k - 1} e^{-\left( \frac{t}{\beta_k} \right)^{\alpha_k}}$$

Weibull dağılımların karması elde edilir. Weibull dağılımların karmasında  $k$ . alt grupta  $\alpha$  ve

$\beta$  parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri EM algoritması ile  $A_{k,r} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} \ln t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$ ,

$$B_{k,r} = \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_{k,r}}, \quad C_{k,r} = \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_{k,r}} \ln t_i \quad \text{ve} \quad D_{k,r} = \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_{k,r}} (\ln t_i)^2 \quad \text{olmak üzere,}$$

$$\hat{\alpha}_{k,(r+1)} = \hat{\alpha}_{k,r} + \frac{A_{k,r} + (1/\hat{\alpha}_{k,r}) - (C_{k,r}/B_{k,r})}{(1/\hat{\alpha}_{k,r}^2) + (B_{k,r}D_{k,r} - C_{k,r}^2)/B_{k,r}^2} \quad k = 1, \dots, g$$

$$\hat{\beta}_k = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_k}}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}} \right)^{1/\hat{\alpha}_k}$$

şeklinde tahmin edilir.

$f_k(t | \theta_k)$ ,  $k$ . alt grupta  $\mathbf{t}$  gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu Gamma dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k t^{\alpha_k - 1} \frac{e^{-t/\beta_k}}{\beta_k^{\alpha_k} \Gamma(\alpha_k)}$$

Gamma dağılımların karması elde edilir. Gamma dağılımların karmasında  $k$ . alt grupta  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri EM algoritması ile,  $\psi(\cdot)$  digamma fonksiyonu,  $\psi'(\cdot)$ , trigamma fonksiyonu olmak üzere

$$\hat{\alpha}_k = \hat{\alpha}_{k-1} - \frac{\ln(\hat{\alpha}_{k-1}) - \psi(\hat{\alpha}_{k-1}) - \ln \left( \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}} \right) + \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} \ln(t_i)}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}}{\frac{1}{\hat{\alpha}_{k-1}} - \psi'(\hat{\alpha}_{k-1})}$$



$$\hat{\beta}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i}{\hat{\alpha}_k \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

şeklinde tahmin edildiği belirtilmektedir (Erişoğlu vd., 2011).

Bu çalışmada ise karma dağılım modellerinden olan Weibull-Gama, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Weibull, Gama-Gama, Exponential-Exponential, Weibull,Weibull, Exponential-Lognormal, Exponential-Weibull, Gama-Lognormal karma dağılım modelleri kullanılmıştır.

Malatya ili kuzeyinde yer alan Yazihan ilçesi merkez olmak üzere 35 km yarıçap alan içerisinde meydana gelmiş olan magnitudü 2 ve üzerinde olan 921 adet deprem verisi kullanılmıştır. Elde edilen deprem verileri 1900 ile 2021 tarihleri arasında meydana gelmiş depremlere aittir. Bu verilerden 107 tanesi 3 ve üzeri, 13 tanesi 4 ve üzeri, 2 tanesi de 5 ve üzeri magnitudde depremlere aittir.

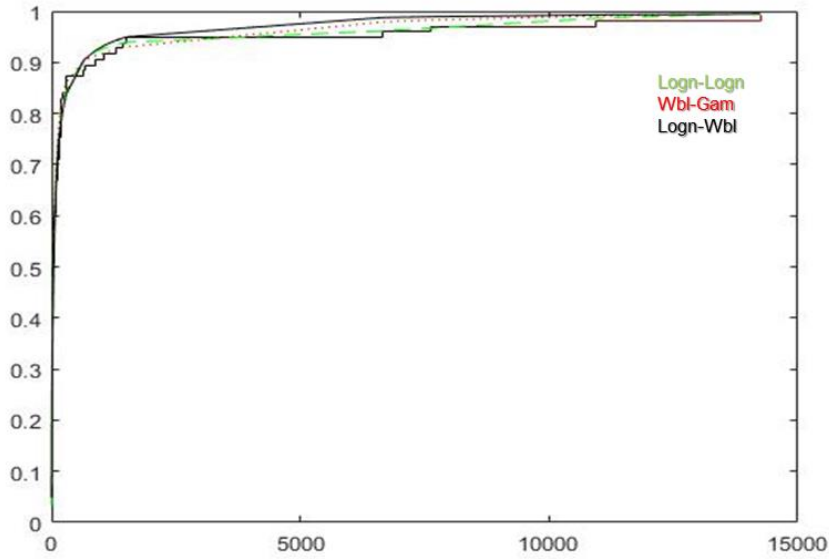
1900–2021 yılları arasındaki depremlerin oluş zamanları öncelikle Weibull-Gama, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Weibull, Gama-Gama, Exponential-Exponential, Weibull,Weibull, Exponential-Lognormal, Exponential-Weibull, Gama-Lognormal karma dağılım modelleri dağılımı ile modellenmiştir. Parametre tahminleri, Kolmogorov Smirnov (KS), AIC (Akaike Information Criterion) ve MSE (Mean Square Error) değerleri Şekil 4., 5., ve 8.'de verilmiştir. Hesaplanan KS, AIC ve MSE istatistik değerleri göz önüne alındığında, ardışık deprem oluş süreleri modellemelerinde  $M>2$  için Logn-Logn, Wbl-Logn ve Logn-Wbl;  $M>3$  için Logn-Logn Wbl-Wbl ve Exp-Logn;  $M>4$  için ise Logn-Logn, Gam-Gam ve Wbl-Gam karma dağılım modellerinin daha uygun oldukları görülmektedir Şekil (5., 7., 9.).

**NOT:** Metodoloji başlığı altında kullanılan yöntemler hakkında bilgiler varsa formüller açıklamaları ile birlikte vermek gerekir.

Distributions	Estimations of Parameters					AIC	KS*	MSE (x10 <sup>-4</sup> )
Exp-Exp	$\lambda_1=59.00$	$\lambda_2=3759.00$			$\pi_1=0.863$	1106.2	0.160	0.0050
Gam-Gam	$\alpha_{g1}=0.4301$	$\beta_{g1}=329.986$	$\alpha_{g2}=11.1888$	$\beta_{g2}=881.172$	$\pi_1=0.957$	1105.2	0.1200	0.0038
Logn-Logn	$\mu_1=9.1580$	$\sigma_1=0.2989$	$\mu_2=3.4582$	$\sigma_2=1.8952$	$\pi_1=0.043$	1083.7	0.046	0.0003
Wbl-Wbl	$\alpha_{w1}=79.00$	$\beta_{w1}=0.5641$	$\alpha_{w2}=10922.0$	$\beta_{w2}=3.5525$	$\pi_1=0.956$	1093.5	0.068	0.0009
Exp-Gam	$\lambda=55.754$	$\alpha_g=0.289$	$\beta_g=681.45$		$\pi_1=0.735$	1094.3	0.146	0.0044
Exp-Logn	$\lambda=70.7937$	$\mu=3.7008$	$\sigma=2.3510$		$\pi_1=0.206$	1090.2	0.058	0.0006
Exp-Wbl	$\lambda=50.7072$	$\alpha_w=331.308$	$\beta_w=0.3934$		$\pi_1=0.420$	1099.2	0.1106	0.0033
Gam-Logn	$\alpha_g=0.8463$	$\beta_g=75.503$	$\mu=3.7613$	$\sigma=2.3581$	$\pi_1=0.233$	1092.0	0.054	0.0005
Wbl-Gam	$\alpha_g=49.9$	$\beta_g=0.7$	$\alpha_w=0.4$	$\beta_w=6959.8$	$\pi_1=0.835$	1090.4	0.0545	0.0403
Logn-Wbl	$\mu=3.00$	$\sigma=2.00$	$\alpha_w=1103.0$	$\beta_w=4.00$	$\pi_1=0.040$	1084.0	0.1267	0.0038

Şekil 4. Magnitütü 2 den büyük depremler için Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl karma dağılımı parametre tahminleri, AIC, KS ve MSE değerleri.

Figure 4. Logn-Logn, Wbl-Gam and Logn-Wbl mixed distribution parameter estimates, AIC, KS and MSE values for earthquakes with magnitude greater than 2.



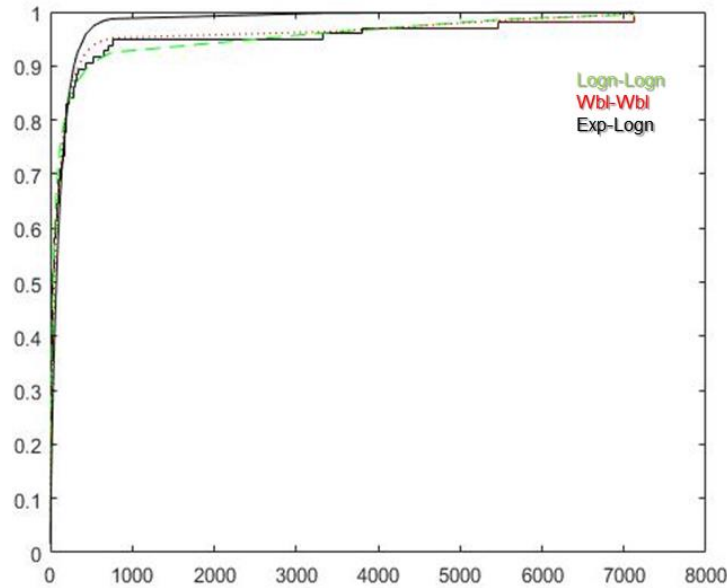
Şekil 5. Ardışık deprem oluş zamanlarına ait Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği (M>2).

Figure 5. Cumulative distribution functions graph of Logn-Logn, Wbl-Gam and Logn-Wbl distributions of consecutive earthquake occurrence times (M>2).

Distributions	Estimations of Parameters					AIC	KS*	MSE (x10 <sup>-4</sup> )
Exp-Exp	$\lambda_1=64.2$	$\lambda_2=2018.8$			$\pi_1=0.875$	1085.1	0.1727	0.0059
Gam-Gam	$\alpha_{g1}=0.52$	$\beta_{g1}=190.601$	$\alpha_{g2}=11.1972$	$\beta_{g2}=440.28$	$\pi_1=0.956$	1062.9	0.4853	<b>0.0059</b>
Logn-Logn	$\mu_1=3.4113$	$\sigma_1=1.8080$	$\mu_2=8.4701$	$\sigma_2=0.2979$	$\pi_1=0.961$	1058.8	0.0561	0.00058
Wbl-Wbl	$\alpha_{w1}=70.30$	$\beta_{w1}=0.6396$	$\alpha_{w2}=5473.8$	$\beta_{w2}=3.5948$	$\pi_1=0.956$	<b>1060.9</b>	0.0641	0.00065
Exp-Gam	$\lambda=55.10$	$\alpha_g=0.30$	$\beta_g=2681.7$		$\pi_1=0.676$	1082.0	0.1775	0.0062
Exp-Logn	$\lambda=122.406$	$\mu=3.4976$	$\sigma=2.1129$		$\pi_1=0.155$	1062.4	0.0451	0.0036
Exp-Wbl	$\lambda=22.6220$	$\alpha_w=205.932$	$\beta_w=0.5013$		$\pi_1=0.615$	1072.9	0.1433	0.0053
Gam-Logn	$\alpha_g=0.9517$	$\beta_g=124.8043$	$\mu=3.5040$	$\sigma=2.1162$	$\pi_1=0.842$	1064.4	<b>0.2117</b>	0.0109
Wbl-Gam	$\alpha_g=5468.8$	$\beta_g=3.6$	$\alpha_w=0.5$	$\beta_w=190.4$	$\pi_1=0.044$	1063.1	0.0804	0.0001
Logn-Wbl	$\mu=3.4$	$\sigma=1.8$	$\alpha_w=5646.4$	$\beta_w=3.8$	$\pi_1=0.036$	1059.0	0.0609	0.00067

Şekil 6. Magnitüdü 3'den büyük depremler için Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn karma dağılımı parametre tahminleri, AIC, KS ve MSE değerleri.

Figure 6. Logn-Logn, Wbl-Wbl and Exp-Logn mixed distribution parameter estimates, AIC, KS and MSE values for earthquakes with magnitude greater than 3.



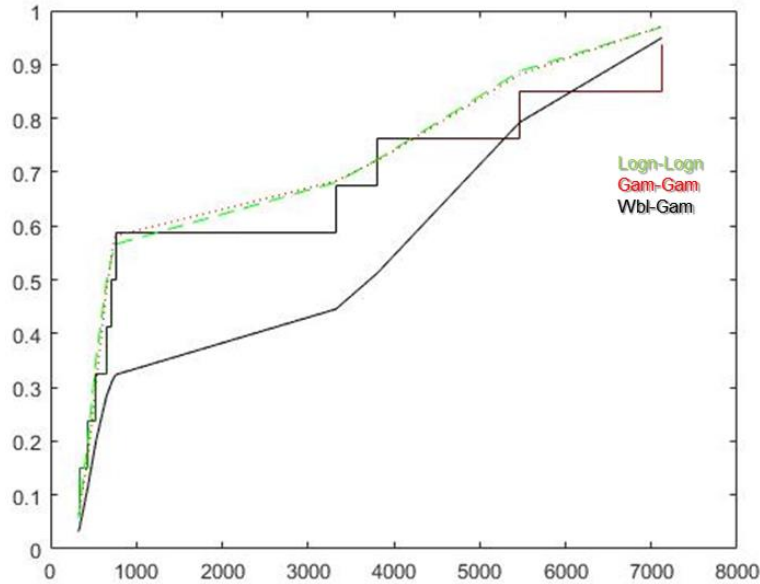
Şekil 7. Ardışık deprem oluş zamanlarına ait Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği (M>3).

Figure 7. Cumulative distribution functions graph of Logn-Logn, Wbl-Wbl and Exp-Logn distributions of consecutive earthquake occurrence times ( $M>3$ ).

Distributions	Estimations of Parameters					AIC	KS*	MSE (x10 <sup>-4</sup> )
Exp-Exp	$\lambda_1=551.2$	$\lambda_2=3353.3$			$\pi_1=0.435$	195.2	0.2324	0.0185
<b>Gam-Gam</b>	$\alpha_{g1}=11.199$	$\beta_{g1}=440.228$	$\alpha_{g2}=10.025$	$\beta_{g2}=53.378$	$\pi_1=0.368$	<b>185.1</b>	<b>0.2617</b>	<b>0.0481</b>
Logn-Logn	$\mu_1=8.4578$	$\sigma_1=0.2998$	$\mu_2=6.2318$	$\sigma_2=0.3242$	$\pi_1=0.364$	185.1	0.0893	0.0039
Wbl-Wbl	$\alpha_{w1}=595.2$	$\beta_{w1}=3.7415$	$\alpha_{w2}=5478.3$	$\beta_{w2}=3.6133$	$\pi_1=0.636$	<b>185.2</b>	0.0814	0.0037
Exp-Gam	$\lambda=2131.5$	$\alpha_g=0.9$	$\beta_g=2301.7$		$\pi_1=0.450$	200.6	0.2743	0.0252
Exp-Logn	$\lambda=4269.0$	$\mu=6.2$	$\sigma=0.3$		$\pi_1=0.429$	188.6	0.1279	0.0072
Exp-Wbl	$\lambda=4293.0$	$\alpha_w=596.4$	$\beta_w=3.8$		$\pi_1=0.575$	188.3	0.1061	0.0046
Gam-Logn	$\alpha_g=11.199$	$\beta_g=440.234$	$\mu=6.2318$	$\sigma=0.3242$	$\pi_1=0.636$	185.2	<b>0.2644</b>	0.0478
<b>Wbl-Gam</b>	$\alpha_g=595.31$	$\beta_g=3.7421$	$\alpha_w=11.1989$	$\beta_w=440.220$	$\pi_1=0.636$	<b>182.9</b>	<b>0.0814</b>	<b>0.0037</b>
Logn-Wbl	$\mu=6.2$	$\sigma=0.3$	$\alpha_w=5475.8$	$\beta_w=3.6$	$\pi_1=0.364$	185.5	0.1105	0.0053

Şekil 8. Magnitütü 4’den büyük depremler için Gam-Gam, Wbl-Gam ve Logn-Logn karma dağılımı parametre tahminleri, AIC, KS ve MSE değerleri.

Figure 8. Gam-Gam, Wbl-Gam and Logn-Logn mixed distribution parameter estimates, AIC, KS and MSE values for earthquakes greater than 4 magnitude.



Şekil 9. Ardışık deprem oluş zamanlarına ait Logn-Logn, Wbl-Gam ve Gam-Gam dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği ( $M>4$ ).

*Figure 9. Cumulative distribution functions graph of Logn-Logn, Wbl-Gam and Gam-Gam distributions of consecutive earthquake occurrence times ( $M>4$ ).*

Birikimli dağılım fonksiyonları ve Deprem oluş zamanı dağılımlarını gösteren grafikler (Şekil 5., 7., 9.) incelendiğinde, karma dağılım için en uygun modellerin  $M>2$  için Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl,  $M>3$  için Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn;  $M>$  için ise Logn-Logn, Wbl-Gam ve Gam-Gam karma dağılım modellerinin en uygun dağılımlar olduğu görülmüştür. Şekil 5. incelendiğinde,  $M>2$  depremler için depremin olma olasılığı 750 gün (2,055 yıl) için %90'ın üzerinde olduğu hesaplanmıştır. Şekil 7. incelendiğinde,  $M>3$  depremler için depremin olma olasılığı 500 gün (1,370 yıl) için %93'ün üzerinde olduğu hesaplanmıştır. Şekil 9. incelendiğinde ise,  $M>4$  depremler için depremin olma olasılığı 6500 gün (17,808 yıl) için %90'ın üzerinde olduğu hesaplanmıştır.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanının istatistiksel deprem risk analizi, magnitudü 2 ve üstü, 3 ve üstü, 4 ve üstü depremler için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Deprem risk analizi yapılırken Weibull-Gamma, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Wbl, Gamma-Gamma, Exp-Exp, Weibull-Weibull, Exp-Gamma, Exp-Lognormal, Exp-Weibull, Gama-Lognormal karma dağılım modelleri kullanılmış ve bu dağılımlardan magnitudü 2'den büyük olanlar için Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl karma dağılım modellemeleri veri setine en uygun dağılımlar oldukları belirlenmiştir. Magnitudü 3'den büyük olanlar için Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn karma dağılım modellemeleri veri setine en uygun dağılımlar oldukları belirlenmiştir.

## Sevimli ve Ünlüenç, 2022, 38-61

Zaman	mlpdf	gwpdf	glpdf	Zaman	mlpdf	gwpdf	glpdf	Zaman	mlpdf	gwpdf	glpdf
1	3,26%	4,88%	5,78%	1	2,84%	1,64%	7,81%	1	0,00%	0,00%	0,00%
10	25,99%	24,76%	24,50%	10	25,94%	11,98%	24,31%	10	0,00%	0,00%	0,00%
50	57,03%	53,40%	55,41%	50	58,54%	38,88%	50,82%	50	0,00%	0,00%	0,01%
100	69,77%	67,43%	70,49%	100	71,65%	59,37%	66,43%	100	0,00%	0,00%	0,08%
200	80,01%	79,04%	82,03%	200	81,85%	81,11%	81,56%	200	0,13%	0,07%	1,07%
500	88,92%	88,54%	89,32%	500	90,29%	97,04%	93,54%	500	30,47%	17,41%	25,82%
750	91,34%	91,35%	90,81%	750	92,46%	98,71%	95,16%	750	56,29%	32,16%	57,71%
1000	92,61%	93,01%	91,71%	1000	93,56%	99,13%	95,54%	1000	62,46%	35,69%	63,58%
1250	93,39%	94,13%	92,40%	1250	94,20%	99,31%	95,63%	1250	63,46%	36,27%	63,65%
1500	93,90%	94,94%	92,99%	1500	94,62%	99,43%	95,67%	1500	63,62%	36,39%	63,66%
2000	94,53%	96,03%	93,95%	2000	95,13%	99,58%	95,75%	2000	63,72%	36,73%	63,85%
2500	94,89%	96,74%	94,71%	2500	95,46%	99,67%	95,89%	2500	64,27%	38,04%	64,60%
3000	95,12%	97,24%	95,34%	3000	95,81%	99,74%	96,11%	3000	66,04%	41,20%	66,41%
3250	95,21%	97,44%	95,61%	3250	96,03%	99,76%	96,26%	3250	67,56%	43,67%	67,82%
3500	95,28%	97,62%	95,87%	3500	96,28%	99,78%	96,43%	3500	69,48%	46,74%	69,57%
3750	95,35%	97,77%	96,10%	3750	96,56%	99,80%	96,63%	3750	71,76%	50,33%	71,62%
4000	95,40%	97,91%	96,32%	4000	96,86%	99,81%	96,85%	4000	74,27%	54,36%	73,92%
4250	95,46%	98,03%	96,52%	4250	97,17%	99,83%	97,09%	4250	76,93%	58,67%	76,39%
4500	95,51%	98,14%	96,71%	4500	97,48%	99,84%	97,34%	4500	79,60%	63,13%	78,93%
4750	95,56%	98,23%	96,88%	4750	97,79%	99,85%	97,61%	4750	82,21%	67,58%	81,48%
5000	95,61%	98,32%	97,05%	5000	98,08%	99,86%	97,89%	5000	84,67%	71,90%	83,94%
5250	95,67%	98,40%	97,20%	5250	98,34%	99,87%	98,16%	5250	86,94%	75,97%	86,27%
5500	95,74%	98,48%	97,35%	5500	98,58%	99,88%	98,43%	5500	88,99%	79,73%	88,42%
5750	95,81%	98,55%	97,48%	5750	98,80%	99,88%	98,68%	5750	90,79%	83,11%	90,35%
6000	95,89%	98,61%	97,61%	6000	98,98%	99,89%	98,92%	6000	92,36%	86,10%	92,06%
6250	95,99%	98,67%	97,73%	6250	99,14%	99,89%	99,14%	6250	93,71%	88,69%	93,54%
6500	96,09%	98,72%	97,84%	6500	99,28%	99,90%	99,32%	6500	94,85%	90,90%	94,80%
6750	96,21%	98,77%	97,95%	6750	99,40%	99,90%	99,48%	6750	95,81%	92,76%	95,86%
7000	96,33%	98,82%	98,05%	7000	99,50%	99,91%	99,62%	7000	96,61%	94,29%	96,74%
7250	96,46%	98,86%	98,14%	7250	99,58%	99,91%	99,72%	7250	97,26%	95,54%	97,45%
<b>A-M&gt;2 için</b>				<b>B-M&gt;3 için</b>				<b>C-M&gt;4 için</b>			
2,055	Yıl			1,370	Yıl			17,808	Yıl		

Şekil 10. Magnitüdü A-2’den; B-3’den ve C-4’den büyük depremler için risk analizi. Bu çizelgedeki açıklamalar eksiktir.

Figure 10. From the 57agnitüde A-2; Risk analysis for earthquakes greater than B-3 and C-4.

Magnitüdü 4’den büyük olanlar için ise Logn-Logn, Gam-Gam ve Wbl-Gam karma dağılım modellemeleri veri setine en uygun dağılımlar oldukları belirlenmiştir. Tüm veri setleri için ise Logn-Logn karma dağılım modellemesi uygun dağılımlar sunmuştur.

Hazırlanan veri setlerinden elde edilen sonuçlara göre;

- magnitüdü 2 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 750 gün içerisinde magnitüdü 2’den büyük bir depremin olma olasılığı %90’dan fazladır.



- magnitüdü 3 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 500 gün içerisinde magnitüdü 3'den büyük bir depremin olma olasılığı %93 'den fazladır.
- magnitüdü 4 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 6500 gün (~ 17,8 yıl) içerisinde magnitüdü 4'den büyük bir depremin olma olasılığı %90'dan fazladır.

## **KATKI BELİRTME**

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

## **KAYNAKLAR**

- Aktimur, S, 1979, Malatya-Sivas Solayının Uzakdan Algılama Yöntemiyle Çizgiselliklerinin İncelenmesi. MTA Rapor No:66-51.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler, MTA Dergisi, 78, 33-39.
- Ateş R, Bayülke N. 26 Mart 1977 Palu Elazığ Depremi, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, (Yayımlanmamış) Ankara, 1977.
- Chien-Ping L, Yi-Ben T. A Study of Recurrence Models of Earthquakes in Taiwan, TAO 2005; 16(1): 251-271.
- Erişoğlu M, Çalış N, Servi T, Erişoğlu Ü, Topaksu M. The Mixture Distribution Models for Interoccurrence Times of Earthquakes. Russian Geology and Geophysics 2011; 52 (7): 737-744.
- Goes SDB. Irregular recurrence of large earthquakes: an analysis of historic and paleosiesmic catalogs. J. Geophysics Res. 1996; 101: 5739-5749.
- Hagiwara Y. Probality of Earthquake occurrence as obtained from a Weibull distiribition analysis of crustal strain. Tectonophysics 1974; 23: 323-318.
- Herece E, Akay E. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi 1992; 361-372.

- Hempton MR. The North Anatolian fault and complexities of continental escape, *Journal of Structural Geology* 1982; 4: 502-504.
- İmamoğlu MŞ. Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı(K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi. Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara; 1993.
- İmamoğlu MŞ. Doğu Anadolu fay zonu Gölbaşı kesimi neotektonik özellikleri ve Gölbaşı-Saray fay kaması havzası, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni* 1996; 11: 176-184.
- İmamoğlu MŞ, Çetin E. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Çevresinin Depremselliği, *D.Ü. Z.G. E.F. Dergisi* 2007; 9: 93-123.
- Kagan Y, Jackson D. Probabilistic forecasting of earthquakes, *Geophys. J. Int.* 2000; 143:438-453.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M., Ertepinar, P., 2006, 3d-Architecture- End And Neogene Evolutyon Of The Malatya Basin: İnferences For The Kinnematic Of The Malatya End Ovacık Fout Zones, *T.J.E.S*, Vol: 15, 123-124, Ankara.
- Koçyiğit, A., Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics* 284, 317-336.
- Matthews A, Barclay J. Carn S. Thompson G. Alexander J. Herd R. Williams C. Rainfall-induced volcanic activity on Montserrat. *Geophysical Research Letters* 2002; 29: doi: 10.1029/2002GL014863. issn: 0094-8276.
- Nishenko SP, Buland R. A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting, *Bull. Seism. Soc. Am.* 1987; 77: 1382-1399.
- Parsons T. Recalculated probability of  $M \geq 7$  earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey, *Journal Of Geophysical Research* 2004; pp: 109, B05304, doi:10.1029/2003JB002667.
- Peck, R.B., Hansen, W.E. And Thornburn, T.H., 1974. *Foundation Engineering*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 514 p.

- Perinçek D, Günay Y, Kozlu H. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, Türkiye 7. Petrol Kongresi 1987; 89-103.
- Perinçek D, Eren AG. Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları etki alanında gelişen Amik Havzası'nın kökeni, 8. Petrol Kongresi 1990; 180-192.
- Rikitake T. Assessment of Earthquake Hazard in the Tokyo Area, Japan, Tectonophysics 1991; 199(1): 121-131.
- Rojay B, Heimann A, Toprak V. Neotectonic and Volcanic Characteristics of the Karasu Fault Zone (Anatolia, Turkey): the Transition Zone Between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone, Geodinamica Acta 2000; 14: 197-212.
- Seher T, Main IG. A statistical evaluation of a 'stress-forecast' earthquake, Geophysical Journal International 2004; 157(1): 187-193.
- Sevimli, U.İ., 2009, Yazihan (Malatya) Batısının Tektono-Stratigrafisi, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 159 s, Adana.
- Shimazaki K. Long-term probabilistic forecast in Japan and time-predictable behavior of earthquake recurrence, Seismotectonics in Convergent Plate Boundary, Y. Fujinawa and A. Yoshida (Editors): 37-43; 2002.
- Stein RS, Barka AA, Dieterich JH. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, GJI 1997; 128: 594-604.
- Sungurlu O. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi: TPAO Arama Grubu, Rapor No. 802, Ankara, 1973; 30 s.
- Sykes L, Nishenko S. Probabilities of occurrence of large plate rupturing earthquakes for the San Andreas, San Jacinto, and Imperial faults, California, 1983-2003. Journal of Geophysical Research 1984; 89: 5905-5927.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA Derleme No:8174, 1987; 394 s.

Udias A, Rice J. Statistical analysis of microearthquake activity near San Andreas geophysical observatory, Hollister, California, Bulletin of the Seismological Society of America 1975; 6: 809-827.

Utsu T. Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes, Bulletin Earthquake Research Inst. Univ. Tokyo 1984; 59: 53-66.

Utsu T. list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000, in International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part A, edited by Lee WK. Kanamori H. Jennings PC. Kisslinger C.: Academic Press; San Diego. pp:691-717. 2002.

Westaway, R., Arger, J., 2001. Kinematics of the Malatya - Ovacık fault zone. Geodinamica Acta 14, 103-131.